

Niveles de concentración de mercurio total en tilapia en los sitios de pesca de las comunidades pesqueras del lago Xolotlán

Mario Alberto Gutiérrez Gutiérrez*

Resumen.- El mercurio depositado en el laguna Xolotlán se bioacumula en los peces haciéndose disponible para los humanos que se alimentan de ellos. Se determinaron las concentraciones de mercurio total (HgT) en 29 muestras de músculo axial de peces tilapia (*Oreochromis sp*) de talla comercial, en nueve (9) sitios de pesca del lago Xolotlán. El promedio de concentración de mercurio total detectado con EAA Varian-A50 fue de 0.0262 µg/g, con valores mínimos menores que el límite de detección 0.00082 µg/g y un máximo de 0.119 µg/g. El sitio de muestreo con mayor promedio de concentración de mercurio total fue San Francisco Libre con 0.0547 µg/g. Las concentraciones más elevadas se presentaron en las tallas menores, con una correlación inversa entre las variables peso y mercurio total, y un coeficiente de correlación de Spearman $r = -0.309$ y $p = 0.103$. Se concluye que los niveles de mercurio total (HgT) en tilapias del lago Xolotlán están relativamente bajos, presentando una tendencia favorable para recomendar su consumo bajo vigilancia de las autoridades sanitarias.

La planta industrial productora de clor-
alcali Electroquímica Penwalt S.A.
(ELPESA), vertió 57 toneladas de mer-
curio elemental (Hg) hacia la bahía de
Miraflores del lago Xolotlán, desde
1968 hasta 1992 (Lacayo, 1996). El
mercurio es uno de los metales pesados
que ofrece alta afinidad a la biometi-
lación, lo que facilita que se incorpore
en los diferentes niveles tróficos, acu-
mulándose en el músculo del pescado;
por su alta liposolubilidad es la forma
biodisponible para las poblaciones hu-
manas que consumen pescado prove-
niente del lago Xolotlán.

La evidencia de la peligrosidad tóxica
del mercurio son los efectos que
produjo el metil mercurio (CH_3Hg) en
la comunidad de Minamata en Japón,
desde 1930 hasta 1960, que van desde la
muerte hasta trastornos neurológicos
severos, reducción del campo visual,
ataxia, debilidad muscular, pérdida de

la capacidad auditiva, pérdida de la me-
moria y accesos bruscos de risa entre
otros (Lacayo, 1987; Pepall, 1997; y
To i Figueras, 1998). A pesar de lo mos-
trado por la experiencia en Minamata,
en las comunidades ribeñas del lago
Xolotlán se realiza actividad pesquera,
la que se destina a la exportación en el
área de Centro América, así como al
mercado local (Matagalpa, Estelí y
Managua) y el autoconsumo, sin ningún
tipo de control de calidad sanitaria de
tipo toxicológico ni microbiológico
(Ministerio de Salud, 1999 y Adminis-
tración de la Pesca 1999, *Com. Pers.*),
lo que pone en alto riesgo de intoxica-
ción a las personas que consumen
pescado proveniente del lago Xolotlán.

Se hacen necesarios estudios sobre
acumulación de mercurio en peces del
lago Xolotlán, identificar las zonas de
pesca con mayor concentración de mer-
curio en los músculos de pescado, gene-

* Profesor Investigador de la Facultad de Ciencia y Tecnología del Ambiente-UCA.

rar información básica sobre la calidad toxicológica de los peces tilapia (*Oreochromis sp*) del lago Xolotlán, que permitan valorar las potencialidades pesqueras, para el posterior ordenamiento de las zonas de captura de las comunidades ribeñas del lago Xolotlán.

Objetivos

Determinar los niveles de concentración de mercurio total (HgT) en el músculo axial de tilapia (*Oreochromis sp*) en una muestra de peces de tallas comerciales, así como la variación espacial de los niveles de acumulación de los sitios de pesca y la bioacumulación del mercurio total (HgT) con respecto al peso en músculo axial de tilapia (*Oreochromis sp*) de las comunidades pesqueras del lago Xolotlán.

Materiales y método

El estudio se realizó en el mes de marzo del año 2000, en el lago Xolotlán, ubicado entre los 12 00' y 12 45' latitud Norte y 86 00' y 87 45' longitud oeste, a 39 m.s.n.m., con una profundidad promedio de 7.8 m, siendo su superficie de 1,052.7 k² (Lacayo, *et al* .1991). (Figura No 1)

Los puntos de muestreo fueron los sitios de pesca de los municipios ribeños del lago Xolotlán: Puerto Momotombo, Papalonal, Nagarote, Mateares, Bahía Miraflores, Bocana de Tipitapa, San Antonio, San Ramón y San Francisco Libre (ilustración 1).

Número y tamaño de las muestras

Se colectaron 87 ejemplares de peces tilapia (*Oreochromis sp*) en nueve puntos de muestreo (ilustración 1), de los cuales se obtuvieron 29 muestras homogeneizadas del músculo axial de peces, de acuerdo al método modificado propuesto por Gutiérrez-Galindo *et al.* (1991); Izaguirre *et al.* (1992); FAO (1983). El mercurio total (HgT) µg/g (ppm) en peso húmedo se determinó, en el Centro de Investigación de Recursos Acuáticos (CIRA-UNAN-Managua), con Espectrofotómetro de Absorción Atómica de Cámara de Grafito Varian-A50, de acuerdo al método estándar y a las normas y procedimientos del CIRA/UNAN-Managua. En cada sitio se prepararon cuatro muestras las que corresponden a clases establecidas de acuerdo al rendimiento en filetes obtenidos por las empresas procesadoras (cuadro 1).

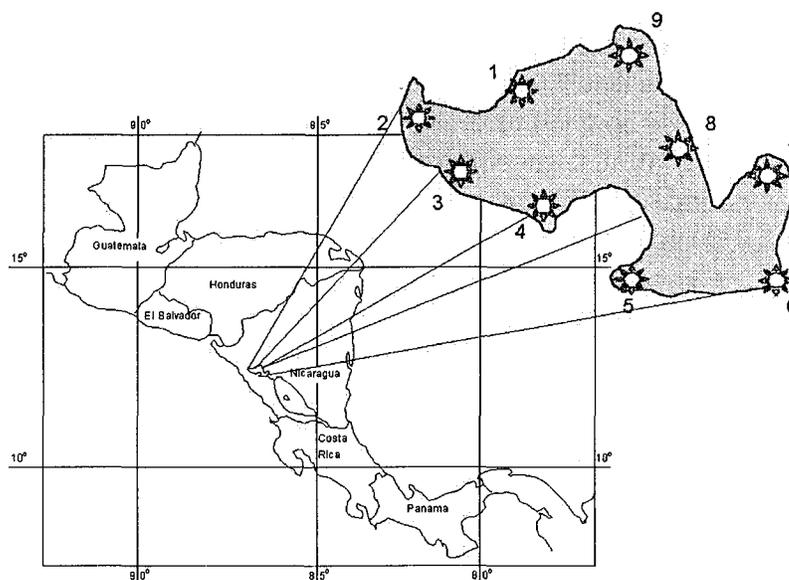


Ilustración 1. Ubicación del sitio de estudio y puntos de muestreo.

Cuadro 1

Categorías de las muestras por pesos de acuerdo al rendimiento por filete

CATEGORIAS PESOS Lbs.		Submuestra 1 (n = 3)	No. Peces
A	Menor de 1.	3 ejemplares	3
B	1 a 1.5	3 ejemplares	3
C	1.5 a 2	3 ejemplares	3
D	Mayor de 2	3 ejemplares	3

Las muestras de cada estación de pesca se adquirieron directamente de las lanchas de los pescadores. Los peces fueron capturados utilizando diferentes artes de pescas (atarrayas, redes agalleras, chinchorros y redes de cerco). Las capturas se realizaron a una profundidad no mayor de dos metros. Se identificó el género *Oreochromis*, mediante claves dicotómicas de Villa (1982); se les realizó mediciones morfométricas de longitud total en centímetro (cm), y peso en gramos (g).

Las concentraciones promedios de mercurio total (HgT) $\mu\text{g/g}$ se compararon con valores medios de concentración de mercurio encontradas en investigaciones anteriores en el lago Xolotlán, con valores de concentraciones de mercurio en peces de otros países y los valores de referencia internacionales de Límites Máximos Permisibles (EPA, FDA, OMS y el gobierno japonés).

Se compararon los valores de las concentraciones medias de mercurio total (HgT) $\mu\text{g/g}$ de las muestras de músculo axial de peces tilapia (*Oreochromis sp*) de cada sitio de pesca, mediante un análisis de KRUSKAL WALIS (ANOVA NPAR) en vista de que los datos no presentaron una distribución normal; se determinaron las diferencias significativas para un valor de $P < 0.05$,

lo que permitió describir la variación espacial de los niveles de concentración de mercurio total (HgT) de los peces de cada sitio de pesca.

Se describió la bioacumulación del mercurio total (HgT), con respecto al peso de los peces, utilizando los datos de las mediciones morfométricas. Se estableció la relación entre la concentración de mercurio total (HgT) $\mu\text{g/g}$ (ppm) y el peso (g), mediante el análisis de correlación de Spearman.

Resultados*Acumulación de mercurio total (HgT) en muestras de músculos de tilapia*

Las concentraciones de mercurio total (HgT) en 29 muestras de músculo axial de tilapia (*Oreochromis sp*) del lago Xolotlán presentaron un valor medio de 0.0262 g/g 0.0044 y un rango < 0.0082 y 0,1190 g/g.

En la cuadro 2 se puede apreciar los valores de los niveles de concentración de mercurio total (HgT), de las muestras de tejidos de tilapia (*Oreochromis sp*) ordenados por diferentes sitios de pesca, promedio de concentración, rango, así como datos morfométricos; el valor del nivel de concentración más alto encontrado de mercurio total (HgT)

fue de 0.1190 $\mu\text{g/g}$ y el valor del nivel más bajo registrado fue menor al límite de detección ($< 0.0082 \mu\text{g/g}$) del EAA *Varian A-50* del CIRA-UNAN.

0.38 veces sobre lo recomendado por Inskip y Piotroski (1985) para peces herbívoros $0.01 \mu\text{g/g}$, (FDA 1984; Inskip y Piotroski 1985; Lacayo 1987;

Cuadro 2

Niveles de concentraciones medias de mercurio total (HgT) en muestras de músculo axial de tilapia (*Oreochromis sp*) de los diferentes sitios de pesca del lago Xolotlán. Indicadores estadísticos de dispersión.

Sitios de colecta de muestras	Muestras (n = 3)	Peso Prom. (g)	Longitud Total Prom. (cm)	Promedio HgT $\mu\text{g/g}$	Rango HgT $\mu\text{g/g}$	CV	SD
Papalonal	4	780	32.2	0.0159	0.0119 - 0.0219	0.288	0.005
Pto. Momotombo	4	744	31.6	0.0117	$<0.0082 - 0.0219$	0.587	0.007
Nagarote	3	554	30.0	0.0102	0.0094 - 0.0110	0.079	0.001
Mateare	4	685	30.8	0.0253	0.0143 - 0.0354	0.361	0.009
Bahía Miraflores	2	440	27.4	0.0359	0.0322 - 0.0395	0.144	0.005
Bocana Tipitapa	3	555	30.1	0.0273	0.0220 - 0.0320	0.615	0.005
San Antonio	4	609	30.3	0.0455	$<0.0082 - 0.0680$	1.054	0.028
San Ramón	2	423	27.9	0.0269	0.0260 - 0.0660	0.615	0.028
San Francisco	3	574	28.8	0.0547	0.0130 - 0.1190	1.034	0.057

LD = 0.0082 EAA Varian A 50

Mercurio total (HgT) en tilapia de este estudio, comparado con las normas Internacionales

Las concentraciones medias $0.0262 \mu\text{g/g}$ de mercurio total (HgT) detectadas en las muestras de músculo axial de tilapia (*Oreochromis sp*) del lago Xolotlán en este estudio, están 38 veces por debajo de los Límites Máximos Permisibles $1.0 \mu\text{g/g}$ de la FDA, 19 veces por debajo de los límites de $0.5 \mu\text{g/g}$ de la OMS, 15 veces por debajo de la norma del gobierno japonés $0.4 \mu\text{g/g}$, y 7.6 veces menor que lo recomendado para las especies de importancia comercial de agua dulce $0.2 \mu\text{g/g}$, y solo

Cortina-Navas, 1996; ATSDR 1999a) (Figura No 2).

Mercurio total en tilapia de este estudio, comparado con otros estudios en el lago Xolotlán

Las concentraciones medias $0.0262 \mu\text{g/g}$ de mercurio total (HgT) encontradas en las muestras de músculos de tilapia (*Oreochromis sp*) del lago Xolotlán presentan valores tres (3) veces más bajos que los niveles encontrados por Corrales y Jarquín (1982) en cíclidos nativos (*Parachromis sp*) del lago Xolotlán en 1981; 24 veces más bajos

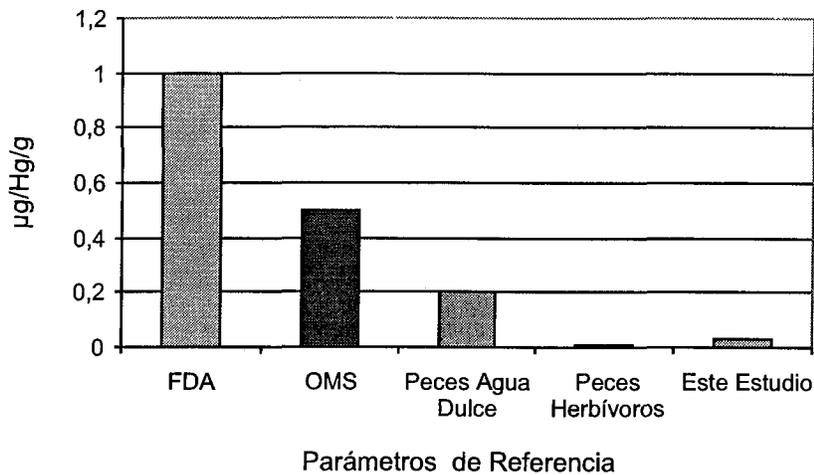


Ilustración 2. Comparación de los parámetros de referencia con los niveles promedios de Mercurio total encontrados en muestras de músculos axial de *Oreochromis sp.*

los niveles de mercurio total (HgT) en “Guapote” (*Parachromis managuense*) y 2.6 veces más bajos que los niveles de mercurio total (HgT) en “Mojarra” (*Parachromis citrinellum*), encontrados por Lacayo *et al.* (1991) en el mismo lago; 4.5 veces más bajos que los niveles de mercurio total (HgT) en “Guapote” (*P. managuense*) y 3.4 veces más bajos que los niveles de mercurio total (HgT) en “Mojarra” (*P. citrinellum*) encontrados por Abt *et al.* (1995). En la ilustración 3 se muestran las comparaciones de niveles medios de concentración de mercurio total (HgT) encontrados en los músculos de tilapia (*Oreochromis sp*) del lago Xolotlán, con los encontrados en cíclidos nativos por Corrales y Jarquín (1982), Lacayo *et al.* (1991) y Abt *et al.* (1995).

Mercurio total del músculo axial de tilapias (*Oreochromis sp*) del lago Xolotlán vs otros cuerpos de agua de Estados Unidos, Canadá y México

Las concentraciones promedios 0.0262 µg/g de mercurio total (HgT) de este estudio están entre 18.3 y 4.1 veces por debajo de los valores medios de los encontrados en Canadá y Estados Unidos reportados por

Tellefson (1986) en varias especies, y 29.3 veces por debajo a los encontrados en Baja California por Gutiérrez-Galindo *et al.* (1989), en tilapia mosambica (*O. mossambicus*). En estos valores que se observan en la ilustración 4, las concentraciones de mercurio para los cuerpos de agua de Canadá y

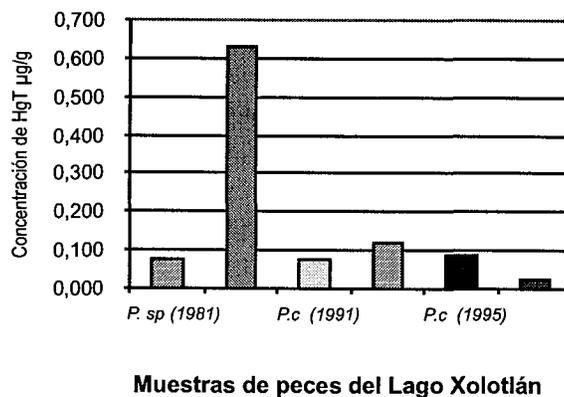


Ilustración 3. Concentración de mercurio total (HgT) en músculos de peces del Lago Xolotlán durante los últimos veinte años Psp (1981) = *Parachromis sp* Corrales y Jarquín, P.m. = *Parachromis managuense* y P.c. *Parachromis citrinellum* Lacayo *et al.* (1991), P.m. = *Parachromis managuense* y P.c. *Parachromis citrinellum* Abt *et al.* (1995).

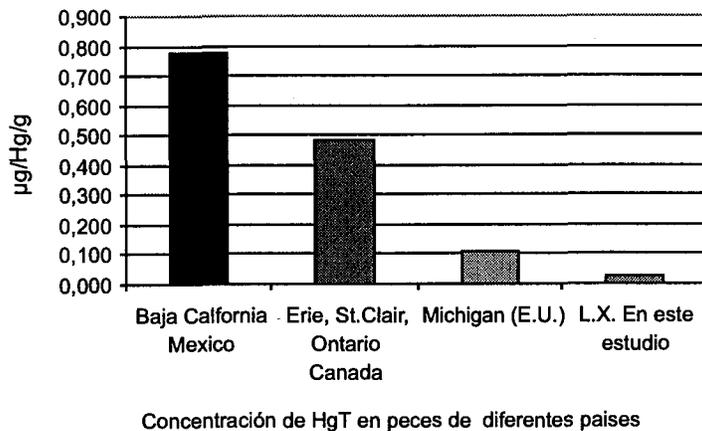


Ilustración 4. Concentraciones medias de mercurio en peces de diferentes países vrs las concentraciones de mercurio total (HgT µg/g) encontrados en este estudio.

Estados Unidos corresponden a varias especies, en cambio, los valores de Baja California, México, corresponden a la especie tilapia mosámbica (*O. mossambicus*), misma que se encuentra entre las especies de tilapia del lago Xolotlán, de acuerdo a las afirmaciones de Saborío (1995).

Variación espacial de los niveles de acumulación mercurio total (HgT) en músculos de peces con relación a los sitios de pesca de las comunidades del lago Xolotlán

Los datos de mercurio total (HgT) en las muestras de músculo axial de tilapia (*Oreochromis sp*) en nueve (9) sitios de pesca del lago Xolotlán se observan en la cuadro 2. El sitio de pesca que mostró concentraciones medias más altas de mercurio total (HgT) fue San Francisco (SF), con un valor promedio de

0.0547 µg/g, un rango de 0.0130 0.1190 µg/g, seguido de San Ramón (SR), con una concentración promedio de 0.0460 µg/g, un rango de 0.0260 0.0660 µg/g y La Bahía de Miraflores, con una concentración promedio de 0.0359 µg/g, un rango de 0.0322 0.0395 µgHg/g, cuya concentración es 5.4 , 4.5 y 3.5 veces superiores a las registradas en Nagarote (NG), con una concentración promedio de 0.0102 µg/g y un rango de 0.0094 0.0110 µg/g, siendo

el sitio con concentración promedio más baja (ilustración 5).

En la Bahía de Miraflores (BM), punto de vertido de las 57 toneladas de mercurio por la PENWALT en los años 70 y 80 descritos por Lacayo *et al* (1991), presentó concentraciones promedios de mercurio total (HgT) 0.0359 µg/g y un rango de 0.0322 - 0.0395 µg/g. En todos los sitios de

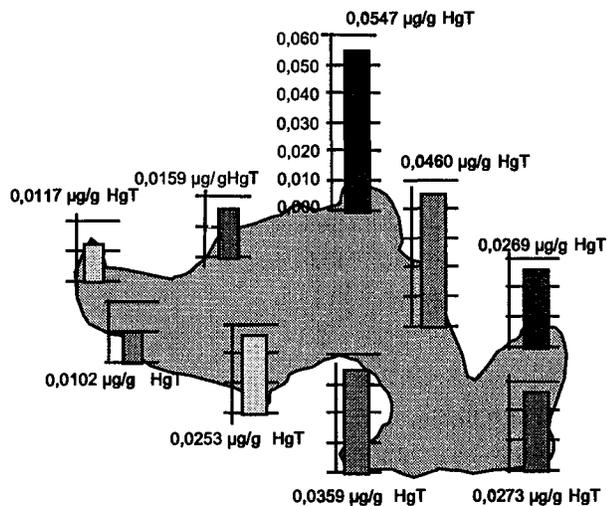


Ilustración 5. Distribución geográfica de la concentración de mercurio total en los músculos axial de tilapia (*Oreochromis sp*) en los sitios de pesca del lago Xolotlán.

pesca, las concentraciones de mercurio total en las muestras de músculo axial de tilapia (*Oreochromis sp*) fueron inferiores a los límites permitidos por la legislación y normativas internacionales de salud pública de FDA (1 µg/g), OMS, EPA (0.5 µg/g) y la norma del gobierno japonés (0.4 µg/g).

El análisis de Kuskal-Wallis de los resultados dieron un valor de nivel de significación $P > 0.05$, lo que demuestra que el valor de probabilidad del estadístico Kruskal-Wallis (P) es mayor que el nivel de significación < 0.05 , lo que se interpreta como que no existen diferencias significativas en la distribución espacial de concentración de mercurio total (HgT) en las muestras de músculo de tejido axial de tilapia (*Oreochromis sp*). Por esto se afirma que, al tomar una

Muestra de cualquier sitio, ésta no presenta diferencias significativas, es decir, pueden corresponder a la misma población.

Bioacumulación del mercurio total (HgT) en músculo de tilapia (*Oreochromis sp*) con respecto al peso

Las concentraciones medias de mercurio total (HgT) por categorías de peso de tilapia (*Oreochromis sp*), determinados en este estudio, se observan en el cuadro 3. Estas presentan una tendencia decreciente de concentraciones de mercurio total (HgT) con respecto al peso de los peces; las concentraciones medias de mercurio total (HgT) son más altas en los peces de menor peso que en de mayor peso. Este comportamiento de bioacumulación no es común para los organismos acuáticos, de tal manera que es opuesto al proceso encontrado por Jackson (1998) y Lacerda *et al*

(1994) para especies carnívoras, como también para el encontrado por Gutiérrez-Galindo *et al* 1989 para especies herbívora tilapia (*O. Mossambicus*) en Baja California, la misma especie que se encuentra en el lago Xolotlán.

Esta tendencia decreciente de las concentraciones de mercurio total, con respecto a las cuatro categorías de peso, se aprecia en la figura 6. se evidencia la relación inversa de mercurio total (HgT) con respecto a las cuatro categorías de peso de las 29 muestras.

El análisis de correlación de Spearman confirman una tendencia a la correlación negativa, así como, una baja asociación entre las variables mercurio total (HgT) y peso del pez, con un coeficiente de correlación de Spearman $r = -0.309$ y $p = 0.103$, ilustración 7.

Discusión

Las bajas concentraciones de mercurio total (HgT) encontradas en las muestras de músculos de tilapia (*Oreochromis sp*) en este estudio, indican que presentan una ligera tendencia a la bioacumulación. Las concentraciones bajas de mercurio total (HgT) encontradas en músculos de tilapia (*Oreochromis sp*) según Callahan, *et al.* (1979); Cortina-Navas (1996); Herper y PrugRinin (1991); Jackson (1998), se atribuyen a varios factores, entre los que se pueden mencionar: su posición baja en la cadena trófica, hábitos alimenticios fitoplantófagos en su estado adulto, su metabolismo y capacidad de auto detoxicación, así como la baja biodisponibilidad del mercurio en la columna de agua, debido a la suspensión de vertido mercurio al cerrar la PENWALT en el año 1992.

Cuadro 3

Relaciones biométricas y concentraciones de mercurio total (HgT) en muestras de tilapia (*Oreochromis sp*) categorizadas en pesos: A = < 454 g (1 Lb.), B = 455 a 681 g (1 a 1.5 Lb.), C = 682 a 908 (1.5 a 2 Lb.), D = > 908 g (2 Lb.)

Categoría de peso	Peso (gramos)		Longitud total (cm)		Mercurio total µg/g	
	Prom.	Rango	Prom.	Rango	Prom.	Rango
A	348	317 - 387	25.6	24.3 - 26.7	0.0341	< 0,0082 - 0,1190
B	554	459 - 610	29.7	27.8 - 31.18	0.0286	0,0083 - 0,0680
C	764	684 - 863	32.5	32.2 - 33.5	0.0199	0,0083 - 0,0680
D	1146	935 - 1403	37.7	36.0 - 40.5	0.0139	< 0,0082 - 0,0220

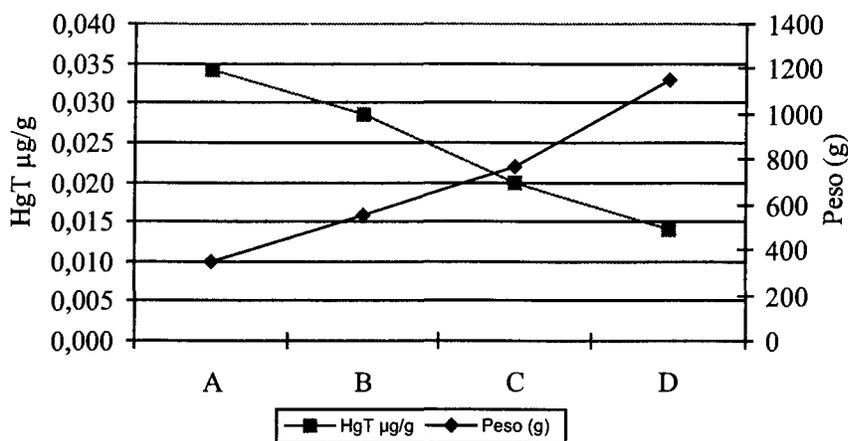


Ilustración 6. Relaciones de las concentraciones medias de mercurio total (HgT) con el peso promedio de las categorías de peces.

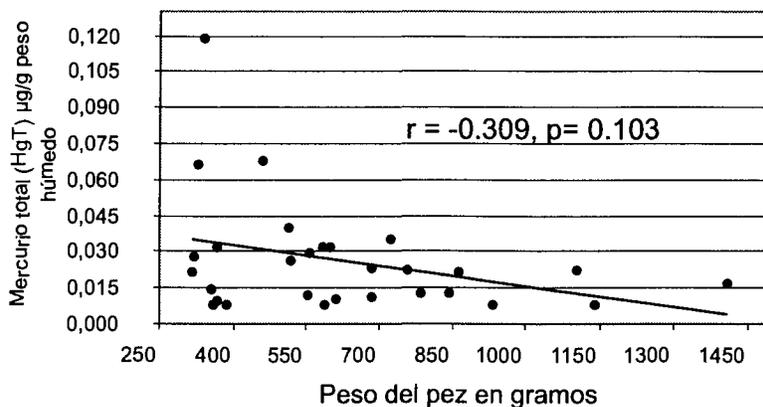


Ilustración 7. Correlación negativa y baja asociación entre el peso del cuerpo del pez y el contenido de mercurio total (HgT) ($r = -0.309, p = 0.103$).

Los niveles bajos de concentración de mercurio en tilapia del lago Xolotlán coinciden con la opinión de Saavedra *et al.* (1996), que las especie del género *Oreochromis* tienen la capacidad de tolerar sustancias tóxicas, lo que indudablemente se debe a la eficiencia alta de desasimilación para este tipo de sustancias tóxicas.

La variación espacial de los niveles de acumulación de mercurio total (HgT) en músculos de tilapia (*Oreochromis sp*) del lago Xolotlán, estadísticamente mostró que no hay diferencias significativas en los valores medios de las muestras de cada sitio de muestreo. Esto se atribuye a diferentes factores ambientales, hábitos y distribución de los peces para la búsqueda del alimento, así como a la necesidad de mejores condiciones de hábitat y de sitios de reproducción, coincidiendo con la opinión de Saavedra *et al* (1999). Por otro lado se puede afirmar que existe una distribución casi homogénea del mercurio en el ambiente acuático, producto del carácter polimictico del lago Xolotlán, descrito por Montenegro-Guillén (1991). De igual manera, las diferencias en las concentraciones mostradas en la ilustración 5 se le atribuyen a la heterogeneidad de la tilapias, señala por Herper y Pruginin (1991).

La biocumulación de mercurio total (HgT) en músculo de tilapia (*Oreochromis sp*) con respecto al peso, mostraron una correlación negativa y baja asociación entre las variables mercurio total (HgT) y peso corporal de los peces, lo que se atribuye a varios factores, entre los que se pueden explicar están: cambios ontogénicos en los hábitos alimenticios de las tilapias (*Oreochromis sp*), a medida que crece el pez, pasa de hábitos

alimenticios zooplantónicos en los primeros meses de vida, a hábitos fitoplanctónicos (Herper y Prugini, 1991), lo que permite al pez alimentarse en un nivel trófico bajo, lo que según Callahan *et al.* (1979) implica un factor de bioacumulación del mercurio de 1,000 para organismos herbívoros de agua dulce.

Otro factor que puede afectar la bioacumulación es la frecuencia alta de desove (de tres a cuatro veces al año) que se presenta en las tilapias (*Oreochromis sp*), una vez que éste ha alcanzado la madurez sexual (Saavedra *et al* 1996; McCrary *et al* 1998), lo que le permite evacuar o descargar al ambiente, cantidades de mercurio asociado al grupo sulfidril HS (Cotton y Wilkinson, 1995; Jackson, 1998) de la proteína que se encuentra en los huevos, así como la no ingestión de alimento durante el período de incubación (Coleman *In litt.* 1999); otro de los aspectos que se puede destacar es la poca biodisponibilidad del mercurio en los diferentes sitios de captura de las muestras, y la capacidad de auto desintoxicación que algunos peces pueden tener, según lo describe Jackson (1998).

Conclusiones y recomendaciones

- Los resultados de esta investigación no son concluyentes, son preliminares, sin embargo destacan una presencia de las concentraciones de mercurio total (HgT) en los diferentes sitios de pesca del lago Xolotlán.
- Los niveles promedios de concentración de mercurio total (HgT) 0.0262 µg/g en peso húmedo en los músculos de tilapia (*Oreochromis*

- sp*) están por debajo de los principales valores de referencia internacional de la OMS, FAO y EPA, y a los niveles de mercurio encontrados durante los últimos veinte años por Corrales y Jarquín (1982) Lacayo *et al.* (1991), y Abt *et al.* (1995).
- En todos los sitios de pesca, las concentraciones de mercurio total en las muestras de músculo axial de tilapia (*Oreochromis sp*) fueron inferiores a los límites permitidos por la legislación y normativas internacional de salud pública de FDA (1 $\mu\text{g/g}$), OMS, EPA (0.5 $\mu\text{g/g}$) y la norma del gobierno japonés (0.4 $\mu\text{g/g}$).
 - Las concentraciones promedio de mercurio total (HgT) 0.0262 $\mu\text{g/g}$ en peso húmedo en los músculos de tilapia muestran una tendencia a la disminución de la biodisponibilidad del mercurio y la bioacumulación hacia los componentes tróficos del ecosistema.
 - Las bajas concentraciones de mercurio total (HgT) encontradas en este estudio despiertan el interés por las especies de importancia comercial, ya que se perfilan como una alternativa de aprovechamiento del lago Xolotlán, así como un consumo más abierto del pescado en el mercado local y el regional.
 - Las pruebas estadísticas de Kruskal Wallis mostraron que no existen diferencias significativas en los nueve puntos de pesca, lo que potencializa a cualquiera de estos puntos como centros de acopio pesquero con riesgos de exposición al mercurio dentro de los límites de referencia internacionales.
 - La bioacumulación del mercurio total encontrado en los músculos de tilapia presenta una relación inversa entre el peso y la concentración media de mercurio, las máximas concentraciones promedios se presentaron en las categorías de peces de menor peso y las menores concentraciones se presentaron en los peces de mayor peso.
- Basado en los resultados en este estudio se recomienda:
- Completar el ciclo de muestreos, de tal manera que se pueda contar con la mayor cantidad de datos y analizar la variación temporal y espacial del mercurio, en los diferentes componentes de la biota del lago Xolotlán, y realizar estudios complementarios para conocer la bioacumulación del mercurio en las especies *P. managuense* (guapotes) y *P. citrinellum* (mojarras), ya que presentan hábitos diferentes al de la tilapia y por su alta demanda entre los consumidores locales, ya que su carne es mejor apetecida que la de tilapia.
 - Centrar los estudios de bioacumulación en otras sustancias peligrosas para la salud humana, como son los pesticidas organoclorados, organofosforados y metales pesados como el plomo, arsénico y cromo, que llegan al lago Xolotlán procedentes de los afluentes del parque industrial de la cuenca sur y de la actividad agrícola de la cuenca norte.

Agradecimiento

Este estudio se desarrolló gracias al apoyo económico del Programa de Apoyo del Sector Ambiental

(PASMA/DANIDA), a la Facultad de Ciencia y Tecnología del Ambiente de la UCA y a la colaboración de las comunidades pesqueras del lago Xolotlán.

Bibliografía

- ABT, PROCTOR, CISCONCO y CAMP DRESSER.(1995). Evaluación Ambiental del Programa de Manejo de la Cuenca del lago de Managua. *Estudio de Factibilidad del Programa de Manejo de La Cuenca del Lago de Managua*. Volumen 6. Abt Associated Inc., Proctor & Redfern/REOCHE/ GPM/SEARCH, INC, Cisconco Ingenieros Consultores y Camp Dresser & Mckee Inc. Octubre 1995.
- ATSDR, (1999^a). *Mercury CAS # 7439-97-6*. Agency for Toxic Substance and Disease Registry. Division of Toxicology. Atlanta, USA. <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts46.html> Consultado en Abril 1999.,
- CALLAHAN, M.A.; SLIMAK, M.W.; GABEL, N.W. *et al.*. (1979). "Water-related Environmental 129 Priority Pollutants". Volume I. EPA-440/4 79-029^a. Washington, D.C. U.S. Environmental protection Agency, December 1979. HSDB Toxinet <<http://toxnet.nlm.nih.gov>>[Consultado el 25 de abril del 2000].
- COLEMAN, R.(1999). *In litt.* Rcoleman@cichlidsresearch.com
- CORRALES, D. y JARQUÍN, A. (1982). *Determinación de los límites de mercurio en el Lago Xolotlán, Laguna de Asososca y agua subterránea*. Departamento de Calidad Ambiental, Instituto Nicaragüense de Recursos Naturales y del Ambiente. Managua, Nicaragua. 43 pp.
- CORTINA - NAVAS, C. (1996). *Lo que usted debe saber sobre el mercurio y su situación en América del Norte*. México. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAP. Serie No. 1 . D.F. México 16 pp <<http://www.inecob.mx/dgmrar/usqea/publicac.html>>[Consultado el 28 de abril del 200].
- COTTON y WILKINSON.(1995). *Química Inorgánica Avanzada*. México. D.F. Editorial Limusa,S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores.
- FAO, (1983). (Manual de métodos de Investigación del Medio Ambiente Acuático)- Parte. 9. *Análisis de Presencia de Metales y organoclorados en los peces*. FAO. Doc. Tec. Pesca (212): 35 p.
- FDA, (1984). *Food Chemical News* (Sept 17): Pp. 36-7. HSDB. TOXINET. <<http://toxnet.nlm.nih.gov>>[Consultado el 25 de abril del 2000].
- GUTIÉRREZ-GALINDO, E.A. , FLORES, G., ORTEGA, M. L., y VILLESAS, J.A. (1991). "Pesticidas en las aguas costeras del Golfo de California: Programa de Vigilancia con mejillones 1987-1988". *Revista Ciencias Marinas*. Vol. 18 No.2 Pp. 77-99.
- GUTIÉRREZ-GALINDO, E. A.; FLORES, G. y ROJAS, V.M. (1989). "Metales trazas en peces del valle de Mexicali, Baja California". En *Revista de Ciencias Marinas* Vol. 15 No.4 Pp. 105-115.
- HERPER, B y PRUGRININ, Y. (1991). *Cultivo de peces comerciales: Basado en las experiencias de las granjas piscícolas en Israel* Editorial Limusa. México. P. 316.
- IZAGUIRRE, G., PAÉZ OSUNA, F. y J OSUNA LÓPEZ, J.I. (1992). "Metales pesados en peces del valle de Mexicali, Baja California, México". *Revista Ciencias Marinas* Vol.18 No.3 Pp.143-151.
- INSKIP, M.J. y PIOTROKI, J.K. (1985). *J Appl Toxicol* No. 113-33. HSDB Toxinet <<http://toxnet.nlm.nih.gov>>[Consultado el 25 de abril del 2000].
- JACKSON, T.A. (1998). "Mercury in aquatic ecosystems". En *Metal Metabolism in Aquatic Environments* William J. Langston and Maria João Bebianno eds. Chapman & Hall, London.

- LACAYO, E.M. (1987). *Mercury in hair of the Nicaraguan population*. A Thesis Presented for Master`s Degree in Fundamental and Applied Marine Ecology. Interuniversity Program Fame. International Postgraduate Training Course on fundamental and applied Marine Ecology. Free University Of Brussels, Laboratory for Ecology. Brussels, Belgium.
- LACAYO, M.; CRUZ, A.; LACAYO, J. y FOMSGAARD, I. (1991). "Mercury contamination in Lake Xolotlán (Managua)". *Hydrobiological Bulletin*. Vol 25 No.2 Pp.173-176 Journal of the Netherlands Hydrobiological Society. Department of Aquatic Ecology, University of Amsterdam.
- LACAYO, E.M. (1996). *El Lago Xolotlán: Un ecosistema en crisis*. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. Managua, Nicaragua. s.e., s.p.i. 16 p.
- LACERDA, L.D.; BIDONE, E.D.; GUIMARAES, A.F. y PFEIFFER, W.C. (1994). *Mercury concentrations in fish from the Itacaiunas-Parauapebas River system, Carajas regions, Amazon*. Departamento de Geoquímica, An. Acad. Bras. Cienc. Vol.66 No.3 Pp.373-9. NCBI PubMed. [Http://www.ncbi.nlm.nih.gov/htbin-post](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/htbin-post) Consultado el febrero del 2000.
- MONTENEGRO-GUILLÉN, S. (1991). "Limnological perspective of Lake Xolotlán (Managua) The plam". *Hydrobiological Bulletin*. Vol. 25 No.2 Pp.105-109. Journal of the Netherlands Hydrobiological Society. Department of Aquatic Ecology, University of Amsterdam.
- MCCRARY, J.K.; RYAN, J.D.; STAUFFER, J.R., LÓPEZ, L. J.; VEGA, G.I.; VAN DEN BERGHE, E.P. y MCKAYE, K.R. (1998). "Tilapia africana en el Lago de Nicaragua: ecosistema en transición". *Encuentro*. No. 46. Managua. Universidad Centroamericana.
- PEPALL, J. (1997). *Envenenamiento por metilo de mercurio: el desastre de la bahía de Minamata*. International Development Research Centre, Ottawa, Canada. <http://www.idrc.ca/books/1997/19-02.html> consultado 12/10/99.
- SABORÍO, A. (1995). "Situación del cultivo de Tilapia en Nicaragua". *Simposio Centroamericano sobre cultivo de Tilapia*. PRADEPESCA-INCOPECA. San José, Costa Rica.
- SAAVEDRA, M.A.; MAYORGA, A.; MIRANDA, A. (1996). *Cultivo de Tilapia: Curso Básico Cultivo de Tilapia*. Managua, NA/MEDEPESCA.
- TO I FIGUERAS, J. (1998). (Desastres Tóxicos) Editor Asociación Catalana de Profesionales para la Cooperación en Módulo: *Ecotoxicología y Toxicología Ambiental*. Cursos de Especialización de Postlicenciatura en Centroamérica. Managua. UAB/UNAN.
- TOLLEFSON, L. y F. CORDLE. (1986). *Environmental H Pers 68*. . HSDS Toxinet <<http://toxnet.nlm.nih.gov>> [Consultado el 25 de abril del 2000].
- VILLA, J. (1982). *Peces Nicaragüenses de agua dulce*. Managua. Editorial Unión. Colección Cultural Banco de América. Serie Geografía y Naturaleza No. 3.